

УДК 621.311

## ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ В УМОВАХ ЗРОСТАННЯ ЧАСТКИ РОЗОСЕРЕДЖЕНОГО ГЕНЕРУВАННЯ

Лежнюк П. Д., Комар В. О., Лесько В. О., Кузьмик О. В.

Вінницький національний технічний університет

*Запропоновано метод оптимальної компенсації збурень, зумовлених зміною генерації ВДЕ. Метод дозволяє на основі аналізу чутливості до втрат активної потужності побудувати дієвий алгоритм оптимального ведення режиму розподільних електричних мереж.*

## Постановка проблеми

В світі, і в Україні зокрема, зростає частка розосередженого генерування [1]. Нові малі генерувальні установки на базі використання енергії вітру, води, сонця і інших відновлюваних енергоресурсів, вносять все більший вклад в генерування електроенергії безпосередньо біля споживачів. Стохастичний характер виробництва електроенергії більшістю таких установок (їх висока залежність від погодних умов) здійснює суттєвий вплив на ЕЕС і, зокрема, на поведінку розподільних електричних мереж, що надає їм характеру локально активних мереж [2]. Перехід від централізованої структури ЕЕС до децентралізованої, який відбувається завдяки введенню установок розосередженого генерування, вимагає змін в концепціях моніторингу, керування і балансування системи. Ці концепції повинні дозволити оптимізувати взаємодію між традиційними електростанціями і розосередженим генеруванням для забезпечення надійності і безпечності електропостачання на достатньому економічному рівні.

Значні темпи зростання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в розподілених електричних мережах, зумовлені державним стимулюванням [1], призводять до загострення ряду проблем:

- зниження якості електричної енергії, підвищення допустимих струмів короткого замикання, зниження впливу керуючих пристроїв, зумовлено відсутністю спеціальних правил приєднання ВДЕ на середній і низькій напрузі;
- не достатній рівень надійності електропостачання через низьку готовність мережі до реконфігурації після аварії;
- обмеженість засобів, які б дозволяли диспетчеру (системному оператору) компенсувати збурення, зумовлені зміною потужності ВДЕ, стабілізувати її баланс.

Отже, якщо говорити про ведення режиму ЕЕС, то диспетчер повинен підтримувати баланс потужності і при цьому намагатись утримувати режим мережі в межах оптимального. Ця задача стає все складнішою в умовах зростання невизначеності і непередбачуваності видачі потужності ВДЕ. Тому системні послуги, які виконувались раніше традиційними генераторами і основною мережею (забезпечення якості електроенергії, надійності електропостачання, стійкості ЕЕС тощо), повинні бути розширені і перенесені на рівень розподільної електричної мережі.

Отже, метою статті є побудова методу оптимальної компенсації збурень в розподільній електричній мережі, зумовлених зміною генерації ВДЕ.

## Модель керування

Суть оптимального керування потоками потужності полягає в тому, щоб після відхилення від оптимального повернути режим в область оптимальності. Після збурення у вузлі (вузлах) мережі виникає приріст втрат  $\Delta\delta\dot{S} = \Delta\dot{S}^k - \Delta\dot{S}^{k+1}$ . Цей приріст має бути розподілений між регульовальними пристроями відповідно їх чутливості до зміни втрат. Приріст втрат  $\Delta\delta\dot{S}$  зменшується таким чином, що потоки потужності перерозподіляються так, щоб режим максимально наближався до економічного режиму, який визначається за заступною г-схемою [3, 4].

Найменший приріст втрат при збуреннях у вузлах за прийнятого принципу оптимального керування буде

$$\Delta\delta\dot{S}_{\min} = \Delta\dot{S}^k - \Delta\dot{S}_r^{k+1},$$

де  $\Delta\dot{S}^k$ ,  $\Delta\dot{S}_r^{k+1}$  – втрати потужності в k-ому режимі та k + 1-му режимі, розраховані за г-схемою.

Оскільки в електричних мережах існують обмеження на рівні напруг у вузлах, на пропускну здатність ліній, ресурс технічних засобів тощо, то реальні втрати в мережі, в більшості випадків, будуть більші ніж розраховані за г-схемою

$$\Delta S = \Delta S_r + \Delta S_\delta,$$

де  $\Delta S_\delta$  – додаткові втрати, зумовлені необхідністю ввести режим в допустиму область.

Тоді, з врахуванням останнього виразу чутливість втрат для i-ої вітки по відношенню до втрат в ній, розрахованих за г-схемою, визначиться як

$$\begin{aligned} \frac{\Delta S_i}{\Delta S_{ir}} &= \sum_{j=1}^{n-1} \frac{T_{ij}^k S_j^k}{T_{rj}^k S_j^k} = \sum_{j=1}^{n-1} \frac{T_{ij}^k}{T_{rj}^k} = \\ &= \sum_{j=1}^{n-1} \frac{\Delta \dot{U}_i \cdot \hat{C}_{ij} \cdot \dot{U}_j^{-1}}{\Delta \dot{U}_{ri} \cdot \hat{C}_{rj} \cdot \dot{U}_{rj}^{-1}} = \sum_{j=1}^{n-1} \sigma_{\Delta} \sigma_{y/ij} \sigma_{Uj}^{-1} \end{aligned}$$

або

$$\frac{\Delta S_i}{\Delta S_{ir}} = \frac{\Delta S_{ir} + \Delta S_{\partial i}}{\Delta S_{ir}} = \sum_{j=1}^{n-1} \sigma_{\Delta i} \sigma_{x/r ij} \sigma_{Uj}^{-1}, \quad (1)$$

де  $\sigma_{\Delta i} = \frac{\Delta \dot{U}_i}{\Delta \dot{U}_{ri}}$  – відношення втрат напруги у і-й

вітці відповідно при реальному режимі і за г-схемою;

$\sigma_{x/r ij} = \frac{\hat{C}_{ij}}{\hat{C}_{rij}}$  – відношення коефіцієнтів струморозподілу відповідно при реальному режимі і за г-схемою;

$\sigma_{Uj} = \frac{\dot{U}_j}{\dot{U}_{rj}}$  – відношення напруг у вузлах мережі від-

повідно при реальному режимі і за г-схемою.

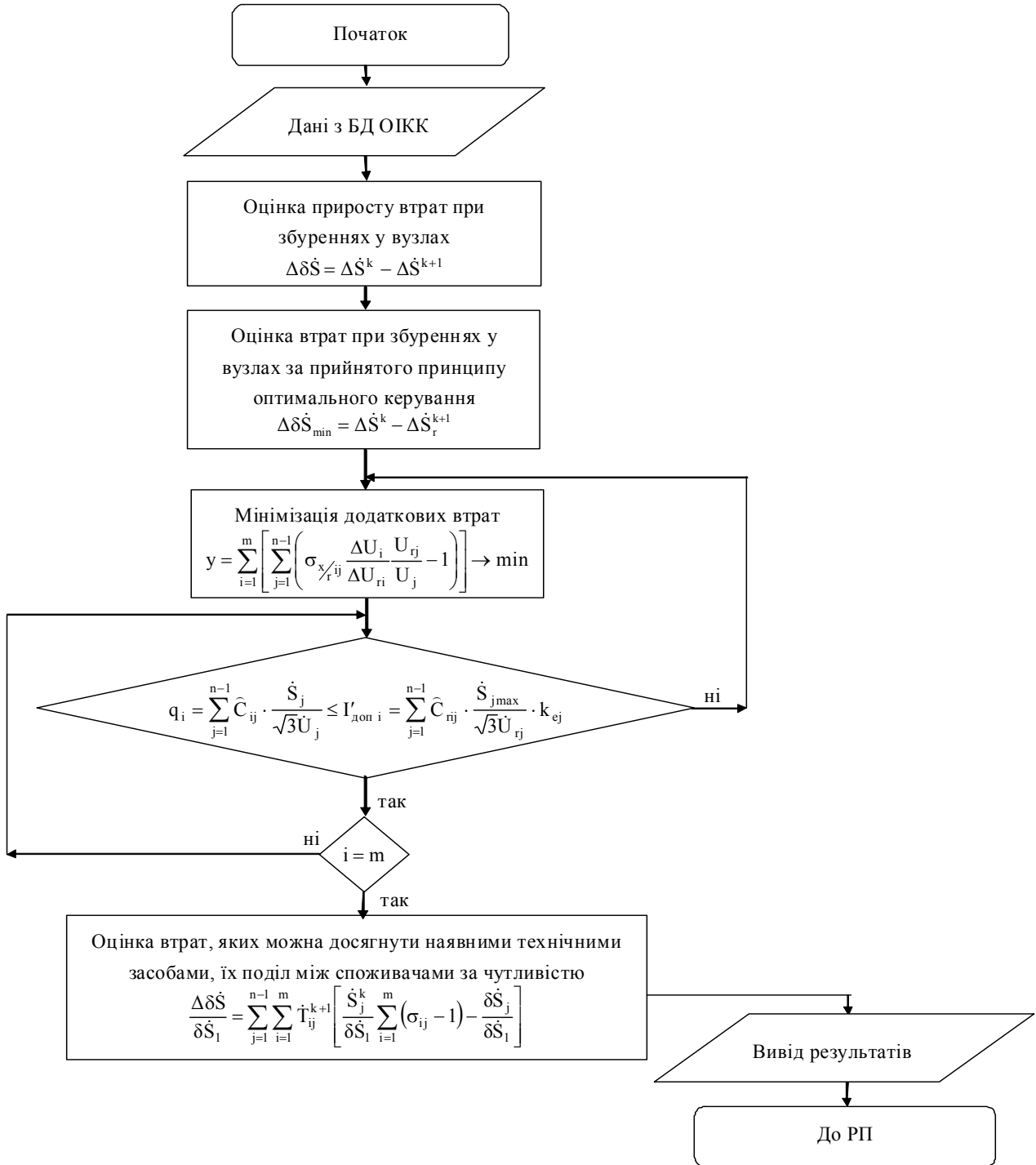


Рисунок 1 – Алгоритм оцінки якості функціонування системи компенсації впливу збурень у вузлах навантаження на втрати потужності

Тоді з (1) визначаються додаткові втрати

$$\Delta S_{di} = \Delta S_{ir} \left[ \sum_{j=1}^{n-1} \left( \sigma_{\Delta i} \sigma_{x/r,ij} \sigma_{Uj}^{-1} - 1 \right) \right], \quad (2)$$

які потрібно мінімізувати.

З врахуванням (2), в цілому для електричних мереж задача оптимального керування (компенсації впливу збурень) формулюється так:

$$y = \sum_{i=1}^m \left[ \sum_{j=1}^{n-1} \left( \sigma_{x/r,ij} \frac{\Delta U_i}{\Delta U_{ri}} \frac{U_{rj}}{U_j} - 1 \right) \right] \rightarrow \min \quad (3)$$

за умов

$$\begin{cases} q_1 = \sum_{j=1}^{n-1} \hat{C}_{1j} \cdot \frac{\dot{S}_j}{\sqrt{3}\dot{U}_j} \leq I'_{don1} \\ \dots \\ q_m = \sum_{j=1}^{n-1} \hat{C}_{mj} \cdot \frac{\dot{S}_j}{\sqrt{3}\dot{U}_j} \leq I'_{donm} \end{cases},$$

де  $\dot{S}_{j\max}$  – максимальна потужність вузла j;

$\dot{U}_{rj}$  – напруга вузла j за г-схемою для потужності

$\dot{S}_{j\max}$ ;

$\dot{S}_j$  – значення потужності вузла j;

$$I'_{doni} = k_{ei} \sum_{j=1}^{n-1} \hat{C}_{rij} \cdot \frac{\dot{S}_{j\max}}{\sqrt{3}\dot{U}_{rj}};$$

$k_{ei} \leq 1$  – коефіцієнт, яким враховується реальний технічний стан електрообладнання, від якого залежить пропускна здатність вітки (для ЛЕП, як правило,  $k_{ei} = 1$ , а для трансформаторних віток значення  $k_{ei}$  залежить від ресурсу трансформатора) [3, 5].

На рис. 1 приведено алгоритм компенсації збурень в складі системи оптимального керування потоками потужності і напругою в розподільній електричній мережі.

#### Висновки

Метод оптимальної компенсації впливу збурень в розподільних електричних мережах з врахуванням чутливості дозволяє виконувати якісну і кількісну оцінку щодо ефективності дій регулювальних пристроїв по оптимізації втрат потужності. Запропоновано алгоритм оцінки якості функціонування системи компенсації впливу збурень у вузлах на втрати потужності в мережах, в основі якого використовується критеріальна модель.

#### Список використаних джерел

1. Основні параметри енергозабезпечення національної економіки на період до 2020 року / [Стогній

Б. С., Кириленко О. В., Праховник А. В., Денисюк С.П., Негодуйко В. О., Пертко П. П., Блінов І. В.]. – К.: Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. – 275 с.

2. Кириленко О. В. Енергетика сталого розвитку: виклики та шляхи побудови / Кириленко О. В., Праховник А. В. // Праці Інституту електродинаміки НАН України. Спеціальний випуск. – Київ. – 2010. – С. 10–16.

3. Лежнюк П. Д. Оптимальное керування потоками потужності і напругою в неоднорідних електричних мережах. / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик – Монографія – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2004. – 188 с.

4. Лежнюк П. Д. Моделирование и компенсация влияния неоднородности электрических сетей на экономичность их режимов / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, Д. И. Оболенский // Электричество. – 2007. – №11. – С. 2–8.

5. Комар В. О. Критеріальне моделювання якості функціонування автоматичних систем керування / В. О. Комар, В. О. Лесько // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” державного політехн. ун-ту. – 2007. – №596. – С.63–68.

#### Аннотация

#### ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ РОСТА ЧАСТИ РАССРЕДОТОЧЕННОГО ГЕНЕРИРОВАНИЯ

Лежнюк П. Д., Комар В. А., Лесько В. А.,  
Кузьмик А. В.

*Предложен метод оптимальной компенсации возмущений, обусловленных изменением генерации ВИЭ. Он позволяет на основе анализа чувствительности к потерям активной мощности построить действенный алгоритм оптимального ведения режима распределительных электрических сетей.*

#### Abstract

#### OPTIMIZATION OF MODES OF DISTRIBUTIVE ELECTRIC NETWORKS IN THE CONDITIONS OF GROWTH OF PART OF THE DISPERSED GENERATION

P. Lezhnyuk, V. Komar, V. Lesko,  
O. Kuzmyk

*The method of optimum indemnification of indignations, predefined the change of generation of renewable energy sources is offered. A method allows on the basis of analysis of sensitiveness to the losses of active-power to build the effective algorithm of optimum conduct of the mode of distributive electric networks.*